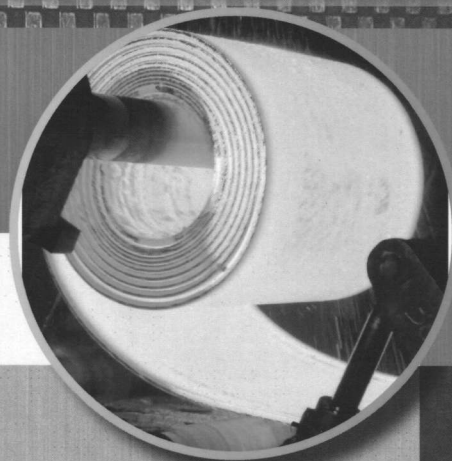
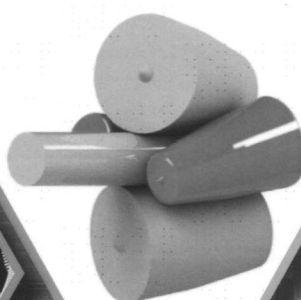
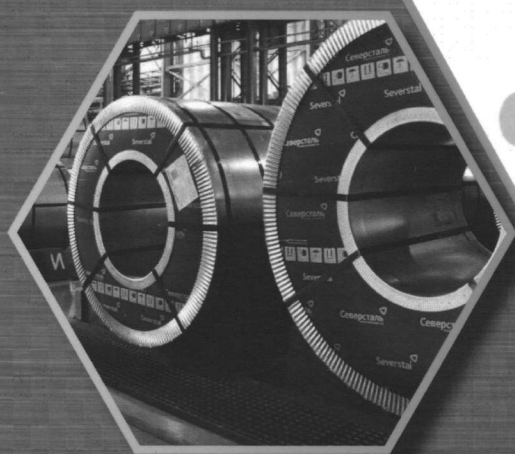


ISSN 0026-0827

# МЕТАЛЛУРГ

7-2018

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



50  
ЛЕТ  
ЧЕРЕПОВЕЦКОЙ  
СЕТКЕ  
1968-2018

Северсталь

**1968** год – запуск в работу  
цеха металлических сеток №1

**SOCIAL PARTNERSHIP**

Winners of XV Industry Competition  
«Enterprise of mining and metallurgical complex  
of high social efficiency»

**ECONOMICS • MANAGEMENT**

Arkhipov G.I. On development of copper smelting  
industry in the Far East region

**ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Zapasny V.V., Asanov D.A., Takeev K.B.,  
Ermekova A.T., Ivanov A.A. Improvement  
of material cleaning of technological and ventilation  
gases at Ust'-Kamenogorsk metallurgical complex  
of «Kazzinc» LTD

**CONTROL SYSTEMS •  
MATHEMATIC SIMULATION**

Romantsev B.A., Tran Ba Huy, Skripalenko M.M.,  
Skripalenko M.N., Gartvig A.A., Gladkov Yu.A.  
Investigation of screw rolling process  
in 4-high stand by simulation

Khlybov D.O., Khrameshin D.V., Kabakov Z.K.  
Application of diagnostic algorithms  
and automatic tuning in system  
of non-destructive statistical control  
of mechanical properties of hot-rolled products

Sharikov Yu.V., Liu Zi Feng. Mathematical  
simulation of process of nickel oxide recovery  
in tube-type rotary kiln

**ENERGY AND RESOURCE SAVINGS**

Zainullin L.A., Epishin A.Yu., Karelin V.G.,  
Artov D.A., Spirin N.A. Analysis of economic  
and energy efficiency of using  
electric arc reduction  
of iron-bearing materials

**SCIENCE • TECHNICS • PRODUCTION****Ferrous Metallurgy**

Eron'ko S.P., Tkachev M.Yu., Oshovskaya E.V.,  
Smirnov E.N., Sklyar V.A. Calculation and design  
of effective system of lime discharge from shaft  
burning furnace

**СОЦИАЛЬНОЕ ПАРТНЕРСТВО**

4 Победители XV отраслевого конкурса  
«Предприятие горно-металлургического комплекса  
высокой социальной эффективности»

**ЭКОНОМИКА • МЕНЕДЖМЕНТ**

5 Архипов Г.И. О развитии металлургического  
производства меди в Дальневосточном регионе

**ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

9 Запасный В.В., Асанов Д.А., Такеев К.Б.,  
Ермекова А.Т., Иванов А.А. Совершенствование  
матерчатой очистки технологических  
и вентиляционных газов на УК МК  
ТОО «Казцинк»

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ •  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

15 Романцев Б.А., Чан Ба Хюи, Скрипаленко М.М.,  
Скрипаленко М.Н., Гартвиг А.А., Гладков Ю.А.  
Исследование процесса винтовой прокатки  
в четырехвалковой клети методом моделирования

21 Хлыбов О.С., Храмешин Д.В., Кабаков З.К.  
Применение алгоритмов диагностики  
и автоматической настройки в системе  
неразрушающего статистического контроля  
механических свойств горячекатаного проката

27 Шариков Ю.В., Лиу Цзы Фэнг. Математическое  
моделирование процесса восстановления закиси  
никеля в трубчатой вращающейся печи

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

33 Зайнуллин Л.А., Епишин А.Ю., Карелин В.Г.,  
Артов Д.А., Спиринов Н.А. Анализ экономической  
и энергетической эффективности использования  
электродугового восстановления  
железосодержащих материалов

**НАУКА • ТЕХНИКА • ПРОИЗВОДСТВО****Черная металлургия**

38 Еронько С.П., Ткачев М.Ю., Ошовская Е.В.,  
Смирнов Е.Н., Скляр В.А. Расчет и конструирование  
эффективной системы выгрузки извести из шахтной  
обжиговой печи

- Ngoy D.M.B., Kalenga M., Tangstad M.** Effect of charge basicity on MnO reduction from two compositions of manganese ores in smelting of ferromanganese
- Ushakov S.N., Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Potapova M.V.** Ladle desulfurization of converter pipe low-sulfur steel
- Lukin S.V.** Mode of slabs heating and thermostating in furnace at hot charge
- Vozyanov E.I., Korobka O.V., Karaulanov O.V., Leshchinsky L.K., Matvienko V.N.** Improving efficiency of work of slab CCM rolls
- Klassen E.Ya., Kolesnikov A.G., Cherepanov D.S.** Analytical dependences for specific pressures determination along deformation zone length on cold pilger mills
- Efimenko L.A., Ramus' A.A., Ponomarenko D.V., Ramus' R.O.** Relationship between structure and fractographic characteristics of micro mechanisms of welded joints fracture from high strength pipe steels
- 44 Ngoy D.M.B., Kalenga M., Tangstad M.** Влияние основности шихты двух составов на восстановление MnO в процессе выплавки ферромарганца
- 50 Ушаков С.Н., Бигеев В.А., Столяров А.М., Потапова М.В.** Ковшовая десульфурация конвертерной трубной низкосернистой стали
- 54 Лукин С.В.** Режим нагрева и термостатирования слябов в печи при горячем посяде
- 59 Возьянов Е.И., Коробка О.В., Карауланов О.В., Лещинский Л.К., Матвиенко В.Н.** Повышение эффективности работы роликов слябовых машин непрерывного литья заготовок
- 64 Классен Э.Я., Колесников А.Г., Черепанов Д.С.** Аналитические зависимости для определения удельных давлений по длине очага деформации на станах холодной прокатки труб
- 69 Ефименко Л.А., Рамусь А.А., Пономаренко Д.В., Рамусь Р.О.** Взаимосвязь структуры с фрактографическими характеристиками микромеханизма разрушения металла сварных соединений из высокопрочных трубных сталей

**Jubelees**

80 years of N.A. Chichenev

**Chichenev N.A.** Reengineering of device for slab centering in stand of roughing mill

**Юбилей**

75 Н.А. Чиченеву – 80 лет

**76 Чиченев Н.А.** Реинжиниринг устройства для центрирования сляба в клетки обжимного стана

**Coatings • Composites**

**Bakaeva R.D., Baldaev L.Kh., Ishmukhametov D.Z., Rashkovsky A.Yu.** Peculiarities of structure formation of gas-thermal coating formed by HVOF method from powder material based on Fe–Cr14–Ni6–Si3

**Покрyтия • Композиты**

**81 Бакаева Р.Д., Балдаев Л.Х., Ишмухаметов Д.З., Рашковский А.Ю.** Особенности структурообразования газотермического покрытия, сформированного методом HVOF из порошкового материала на основе Fe–Cr14–Ni6–Si3

**CONFERENCES • SEMINARS • EXIBITIONS**

Advanced solutions in the field of industrial safety

**Kondratov L.A.** XIV Russian Oil and Gas Congress

“Innovation in Russia is inexhaustible source of growth”

**КОНФЕРЕНЦИИ • СЕМИНАРЫ • ВЫСТАВКИ**

**87** Прогрессивные решения в области промышленной безопасности

**89 Кондратов Л.А.** XIV Российский нефтегазовый конгресс

**94** «Инновации в России – неисчерпаемый источник роста»

**METALLUYGIST-INFO**

Events in Figures and Facts. Prepared by **A.M. Nemenov**

**МЕТАЛЛУРГ-ИНФО**

**96** События в цифрах и фактах. Подготовил **А.М. Неменов**

УДК 62-231.228

## РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ИЗВЕСТИ ИЗ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

© **Еронько Сергей Петрович**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф. (ersp@meta.ua);  
**Ткачев Михаил Юрьевич**<sup>1</sup>, канд. техн. наук (mishel-tkachev@ya.ru);  
**Ошовская Елена Владимировна**<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
**Смирнов Евгений Николаевич**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф. (en\_smirnov@i.ua);  
**Скляр Виталий Александрович**<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

<sup>2</sup> Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, г. Старый Оскол

Статья поступила 21.11.2017 г.

Рассмотрены принцип действия и методика расчета конструктивных и энергосиловых параметров привода новой системы разгрузки шахтной известково-газовой печи. Предложенная методика позволяет определить необходимое значение мощности электромеханического привода системы с рациональным количеством ножей-скребков для обеспечения заданной производительности печи вертикального типа с максимально возможной равномерностью выдачи обожженной извести по периметру подвижного пода с учетом механических характеристик сыпучего материала, а также конструктивных параметров устройства.

**Ключевые слова:** шахтная печь; выгрузочное устройство; известь; сыпучий материал; крутящий момент; привод.

Известь широко используется в качестве флюса в металлургическом производстве с целью удаления из чугуна и стали серы и фосфора. В настоящее время ее получают путем обжига известняка в барабанных вращающихся печах и печах шахтного типа. Благодаря ряду преимуществ в последние годы предпочтение отдают шахтным обжиговым печам. Нормальная суточная производительность шахтных печей, составляющая 145...160 т извести (СаО более 90%) фракции 0...80 мм с насыпной плотностью 1,0 т/м<sup>3</sup>, должна регулироваться в пределах 40...160 т за счет возможности изменения интенсивности выдачи кускового материала. Работа агрегата в заданном технологическом режиме во многом определяется надежностью и техническими возможностями его системы выгрузки, функционирующей в запыленной зоне с повышенным давлением (до 700 мм вод. ст.) и температурой окружающего воздуха, достигающей +60 °С. К главным критериям эффективности работы устройств выдачи обожженной извести из печей шахтного типа следует отнести обеспечиваемые ими степень равномерности выгрузки и пределы регулирования объема материала, поступающего из агрегата в единицу времени.

Важными критериями оценки эффективности эксплуатации разгрузочной системы следует также считать ее надежность и ремонтпригодность, в связи с чем конструкция системы должна обес-

печивать свободный доступ ко всем элементам, подверженным воздействию высоких технологических нагрузок и требующих периодической замены. Отмеченные показатели в значительной мере зависят от конструктивных особенностей и принципа действия используемой в печи системы выгрузки.

Указанные устройства условно можно разделить на три основные группы по виду реализуемого в них движения и форме рабочего органа. К первой группе относятся системы выгрузки с возвратно-поступательным движением элементов, перемещающих материал от центра нижней части шахты печи к ее периферии. Вторая группа устройств объединена в систему с вращающимся подом, снабженным специальными гребнями в форме спирали или криволинейных лопастей, отесняющих обжигаемый материал при повороте относительно нижней части шахты печи в радиальном направлении от ее центральной оси к крайней кромке пода. Отличительной особенностью устройств, отнесенных к третьей группе, является выгрузка материала специальным барабаном или комплектом роликов, вращающихся с помощью индивидуального или группового электромеханического приводов [1–9]. Как показали результаты выполненного сопоставительного анализа достоинств и недостатков известных систем выгрузки извести из шахтных обжиговых печей, дальнейшее их совершенствование свя-

зано с разработкой конструктивных решений, направленных на повышение эффективности процесса выдачи материала из агрегата путем создания сложной траектории движения подвижного пода, выбора рационального числа и формы ножей-скребков, а также обоснованных энергосиловых параметров привода разгрузочного механизма. При этом необходимо проведение экспериментальных исследований конструктивных и технологических параметров совершенствуемой системы выгрузки печи с использованием физических моделей и оригинальных контрольно-измерительных средств. На основании экспериментальных данных следует разработать методику расчета нагрузок, действующих на привод механизма разгрузки шахтной печи в зависимости от развиваемой производительности, а также возможные способы ее гибкого регулирования.

Сотрудниками кафедр «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета и «Металлургия и материаловедение» Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова с учетом достоинств и недостатков известных систем выдачи обожженной извести предложено устройство для разгрузки шахтной обжиговой печи, снабженное подом, совершающим плоскопараллельное движение относительно ее корпуса [10]. Конструктивная схема разработанного устройства приведена на рис. 1, а. Оно включает круглый под 4, установленный с зазором относительно нижней части шахты 16 печи. В нижней опорной поверхности пода выполнены четыре цилиндрических отверстия с запрессованными в них подшипниковыми втулками 2, в которых размещены пальцы 3. Каждый из них жестко закреплен на одном из четырех зубчатых колес 7, горизонтально установленных на вертикальных осях 8. При этом пальцы смещены в одном и том же направлении на одинаковое расстояние от вертикальных осей зубчатых колес 7, имеющих одинаковые размеры и синхронизированных между собой

размещенной в центре приводной шестерней 13, посредством конической передачи 11, связанной с мотор-редуктором 5. Последний смонтирован на наружной поверхности приемного бункера 14, примыкающего снизу к шахте печи и снабженного шибберной задвижкой 10. Зубчатые колеса 7 опираются на сферические тела качения 6, и размещенные в кольцевых беговых дорожках, выполненных в опорной раме 12 концентрично с делительными окружностями самих колес. Опорная рама жестко закреплена на несущих стойках 9. Над центральной частью пода в зазоре между

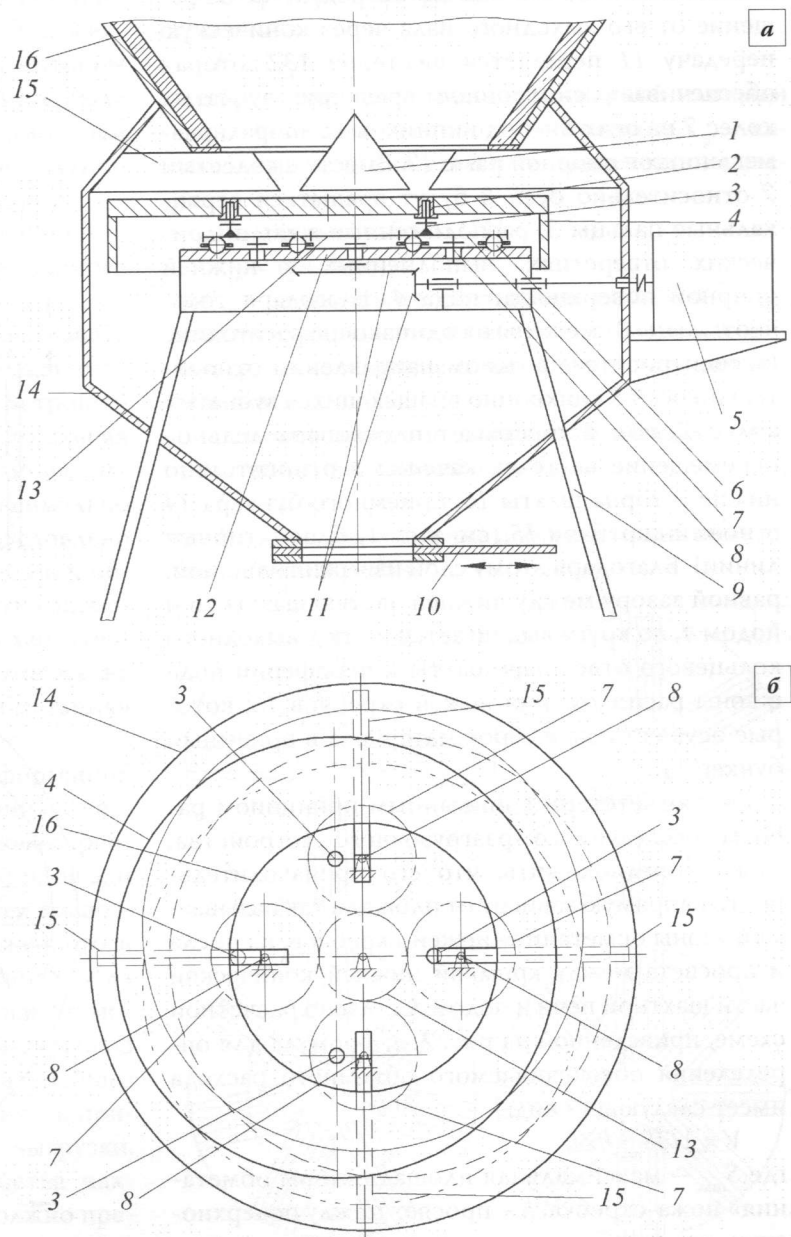


Рис. 1. Конструктивная схема (а) и положение подвижного пода в процессе функционирования разработанного устройства для разгрузки шахтной известково-газовой печи (б)

ним и нижним торцом шахты 16 находится конический колпак-рассекатель 1, жестко связанный с корпусом печи, к которому изнутри прикреплены под заданным углом атаки ножи-скребки 15, равномерно рассредоточенные по периметру над верхней поверхностью пода.

Устройство работает следующим образом. После обжига извести ее куски находятся на колпаке 1 и верхней поверхности пода 4, располагаясь по его периметру под углом естественного откоса и полностью заполняя зазор между подом и нижней частью шахты 16 печи. При открытии заслонки 10 и включении мотор-редуктора 5 вращение от его выходного вала через коническую передачу 11 передается шестерне 13, которая обеспечивает синхронное вращение зубчатых колес 7 на осях 8 в подшипниковых опорах, размещенных в опорной раме 12. Вместе с колесами 7 относительно осей 8 будут вращаться вертикальные пальцы 3, расположенные в цилиндрических отверстиях, выполненных в нижней опорной поверхности пода 4. Благодаря тому, что пальцы 3 смещены на одинаковое расстояние (эксцентриситет) в одном направлении относительно осей 8 синхронно вращающихся зубчатых колес 7, под 4 совершает плоскопараллельное перемещение на телах качения 6 относительно нижнего торца шахты 16, приемного бункера 14 и ножей-скребков 15 (см. рис. 1, б, пунктирные линии). Благодаря этому слой извести толщиной, равной зазору между нижней частью шахты 16 и подом 4, по кругу выдвигается из-под выходного кольцевого отверстия шахты к периферии пода в зоны расположения ножей-скребков 15, которые осуществляют сброс материала в приемный бункер 14.

В соответствии с описанным принципом работы исследуемого разгрузочного устройства, можно предположить, что его производительность напрямую зависит от площади так называемой «зоны обметания» ножей-скребков, их числа и просвета между кромкой нижней конической части шахтной печи и подом. Согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 2, а, формула для определения обеспечиваемого объемного расхода имеет следующий вид:

$$V = 1/3 S_{\max} h Z f,$$

где  $S_{\max}$  – максимальная площадь «зоны обметания» ножа-скребка;  $h$  – просвет между поверхностью подвижного пода и нижней кромкой корпуса шахтной печи;  $Z$  – число ножей-скребков;  $f$  – рабочая циклическая частота подвижного пода.

Площадь «зоны обметания» ножа-скребка зависит от максимальной длины перекрываемой им части подвижного пода ( $l_{\max}$ ) и эксцентриситета центра самого пода относительно вертикальной оси опорной рамы, равному смещению ( $r$ ) пальцев, поддерживающих под, от осей зубчатых колес, на которых они закреплены. В соответствии с формой «зоны обметания» ножей-скребков (см. рис. 2, б)

$$S_{\max} = \pi r^2 / 2 + 2 r l_{\max}.$$

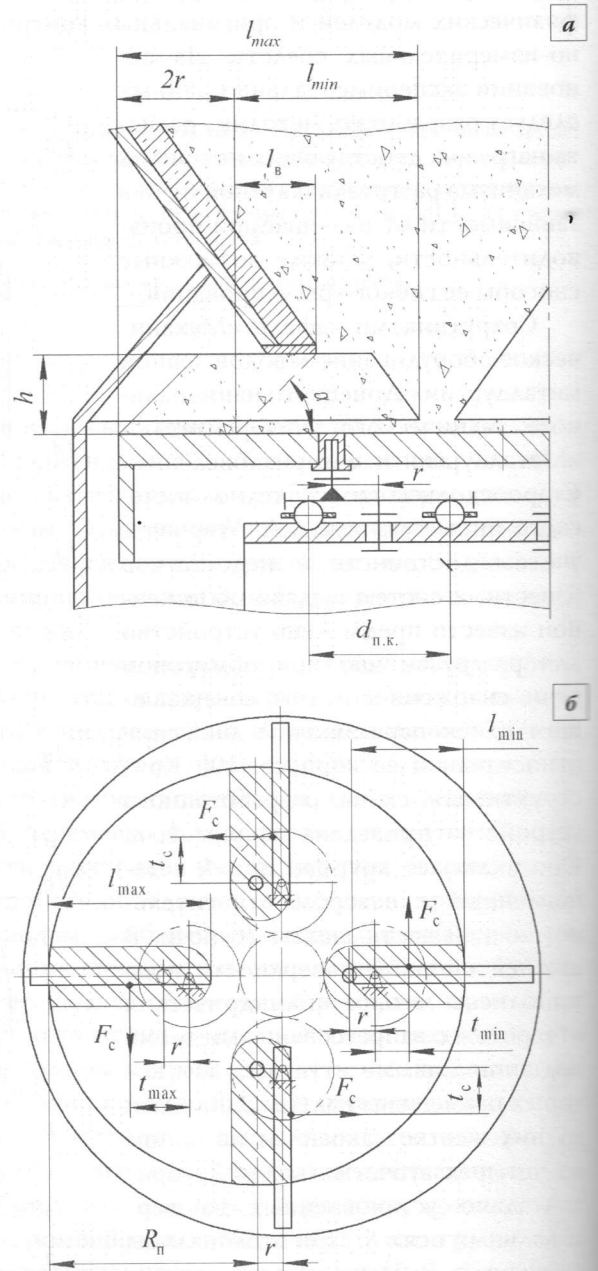


Рис. 2. Расчетные схемы для определения производительности системы выгрузки извести (а) и составляющих общей технологической нагрузки на привод подвижного пода (б): момента сопротивления сил трения в опорах и силы сдвига слоя материала

В итоге

$$V = 1/3(\pi r^2/2 + 2rl_{\max})hZf.$$

Проанализируем полученную формулу. Часть входящих в нее величин являются независимыми. Их численные значения принимают исходя из конструктивных особенностей устройства. К ним следует отнести радиус кривошипа  $r$  и максимальную длину части ножа-скребка  $l_{\max}$ , находящейся над поверхностью пода.

Значения трех остальных величин не могут назначаться произвольно, так как они зависят не только от других геометрических параметров разгрузочной системы, но и от физико-механических свойств выгружаемого материала. Так, максимально допустимый просвет  $h$ , при котором исключается самопроизвольный сход материала из печи, будет связан с минимально возможным выходом за пределы кромки горловины шахтной печи края подвижного пода зависимостью

$$h = l_b \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол естественного откоса выгружаемого материала.

Число ножей-скребков также нельзя назначать произвольно, так как от его выбора будет зависеть эффективность работы выгрузочного устройства при прочих равных условиях. Минимальная производительность соответствует наличию одного ножа-скребка. Вместе с тем, максимально допустимое число ножей-скребков обусловлено требованием отсутствия перекрытия их «зон обметания». Это условие достаточно четко иллюстрирует рис. 3, на котором приведены характерные картины относительного расположения на поверхности подвижного пода «зон обметания» ножей-скребков при их различном числе.

Как следует из приведенной информации, площадь, занимаемая «зонами обметания», увеличивается при увеличении числа ножей-скребков вследствие уменьшения суммарной площади мертвых зон, находящихся вне областей их воздействия на слой материала, расположенного в проеме между поверхностью подвижного пода и срезом горловины корпуса печи. Однако с момента, когда «зоны обметания» ножей-скребков начинают взаимно перекрываться, дальнейшее увеличение их числа не будет обеспечивать прирост производительности устройства выгрузки. Для рассмотренных вариантов устройства максимальное число ножей-скребков не должно превышать семи. Поскольку поиск рационального числа ножей-скребков с использованием графического построения требует временных затрат, целесообразно получить зависимость, позволя-

ющую расчетным путем определять максимальное значение этого конструктивного параметра системы выгрузки шахтной обжиговой печи.

Условие достижения оптимального числа ножей-скребков можно выразить зависимостью

$$2\pi(R_n - l_{\max} + r) = 2rZ,$$

где  $R_n$  – радиус подвижного пода.

$$\text{Откуда число ножей } Z = \pi(R_n - l_{\max} + r)/r.$$

Технологическая нагрузка, действующая на привод подвижного пода, включает две основные составляющие. Первая из них – суммарная сила, требующаяся для сдвига слоя сыпучего материала всеми ножами-скребками в текущий момент времени

$$F_c = S_{3.0} \tau_{cp},$$

где  $S_{3.0}$  – текущее значение суммарной площади «зон обметания» всех ножей-скребков;  $\tau_{cp}$  – касательные напряжения в слое сдвигаемого материала.

По данным работы [11],

$$\tau_{cp} = \tau_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\tau_0$  – начальное сопротивление сдвигу;  $\sigma$  – нормальные напряжения в слое сдвигаемого материала;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения материала.

Текущее значение суммарной площади «зон обметания» всех ножей-скребков

$$S_{3.0} = ZS_{cp},$$

где  $S_{cp}$  – среднее значение площади «зоны обметания» ножа-скребка.

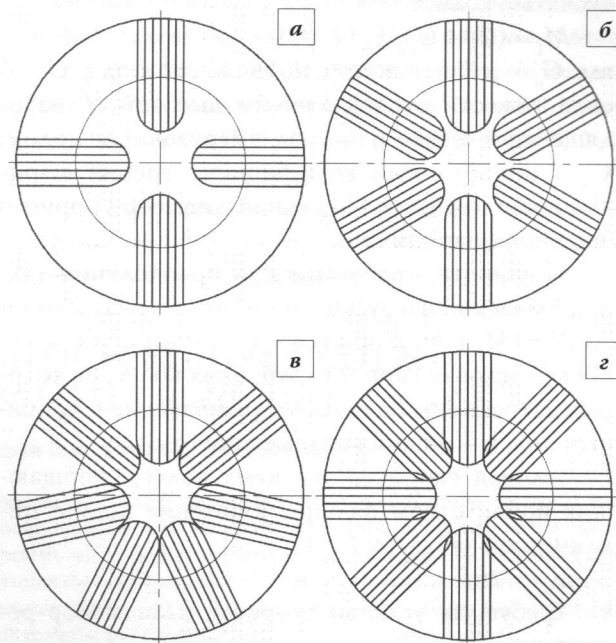


Рис. 3. Форма и порядок расположения «зон обметания» при различном числе ножей-скребков:  
а – Z = 4; б – Z = 6; в – Z = 7; г – Z = 8

В свою очередь

$$S_{\text{ср}} = 0,5(S_{\text{max}} + S_{\text{min}}) = \pi r^2/2 + 2rl_{\text{ср}},$$

где  $l_{\text{ср}}$  – среднее значение длины перекрываемой ножом-скребком части подвижного пода, равное  $0,5(l_{\text{max}} + l_{\text{min}})$ .

Таким образом, суммарная сила, препятствующая перемещению подвижного пода при относительном сдвиге материала,

$$F_{\text{с}} = Z(\pi r^2/2 + 2rl_{\text{ср}})(\tau_0 + \sigma \text{tg}\varphi).$$

Обусловленный  $F_{\text{с}}$  момент сопротивления, одновременно действующий на четыре зубчатых колеса

$$M_1 = F_{\text{с}} t_{\text{с}}/r,$$

где  $t_{\text{с}}$  – усредненное значение расстояния между точкой приложения сосредоточенной силы к ножу-скребку и осью вращения зубчатых колес, на которых закреплены пальцы, поддерживающие подвижный под.

Значение  $t_{\text{с}}$  определяется как среднее арифметическое минимального и максимального значений этого геометрического параметра, который получают графическим методом, используя выполненный в масштабе чертеж данного узла рассматриваемого механизма.

Вторая составляющая общей силы технологического сопротивления обусловлена трением в упорных подшипниках качения, на которые опираются зубчатые колеса, несущие подвижный под. Момент сопротивления, вызванный силами трения и одновременно действующий на четыре зубчатых колеса

$$M_2 = (G_{\text{п}} + G_{\text{с.и}})k_{\text{пр}}(d_{\text{п.к}}/2),$$

где  $G_{\text{п}}$  – сила тяжести подвижного пода;  $G_{\text{с.и}}$  – сила тяжести столба извести высотой  $H$ , находящейся в шахте печи над выгрузочным подом;  $k_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения шарикоподшипника;  $d_{\text{п.к}}$  – средний диаметр упорного шарикоподшипника.

Мощность, требуемая для преодоления технологической нагрузки

$$N = (M_1 + M_2)\omega/\eta,$$

где  $\omega$  – угловая скорость зубчатых колес, на которых закреплены пальцы, удерживающие подвижный под;  $\eta$  – общий к.п.д. механизма.

Угловая скорость зубчатых колес, сообщаемых посредством пальцев движение поду с циклической частотой  $f$

$$\omega_{\text{з.к}} = 2\pi f.$$

Требуемая угловая скорость вала мотор-редуктора

$$\omega_{\text{м.р}} = \omega_{\text{з.к}} i_{\text{п.п}} i_{\text{к.п}},$$

где  $i_{\text{п.п}}$  и  $i_{\text{к.п}}$  – передаточные числа прямозубой и конической передач.

Проверку правильности технических решений, заложенных в конструкцию новой системы выгрузки сыпучего материала из шахтной обжиговой печи, а также корректности полученных зависимостей для расчета конструктивных и энергосиловых параметров, выполнили на физической модели печи производительностью 120 т/сут, изготовленной в масштабе 1:20 (рис. 4) с соблюдением кинематического и динамического подобия.

В ходе лабораторного эксперимента для регистрации в режиме реального времени момента сопротивления, преодолеваемого приводом модели системы, использовали контрольно-измерительный комплекс, включавший специально изготовленный тензорезисторный преобразователь, четырехканальный усилитель переменного тока УТ4-1 и IBM-компьютер с установленной на его шине платой L-154 12-разрядного многоканального аналогоцифрового преобразователя (АЦП) фирмы L-CARD. Тензорезисторный преобразователь для контроля крутящего момента, преодолеваемого приводом, выполнен с использованием фольговых датчиков с сопротивлением 200 Ом, соединенных по мостовой схеме. Характерный вид регистрируемых с его помощью сигналов приведен на рис. 5.

Измеренные значения крутящих моментов, развиваемых при функционировании модели системы выгрузки извести из обжиговой печи, сравни-

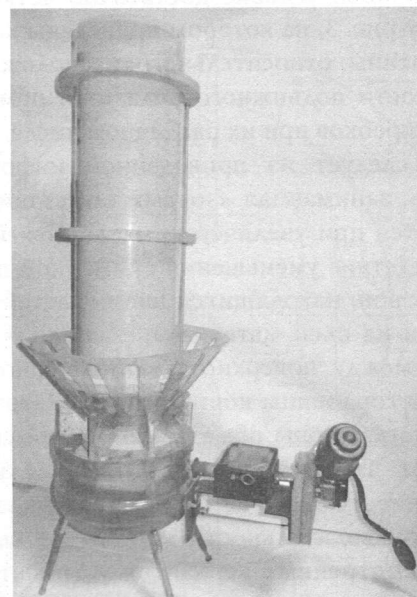


Рис. 4. Физическая модель системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи с установленным в кинематической цепи привода тензорезисторным преобразователем для контроля изменения значения крутящего момента



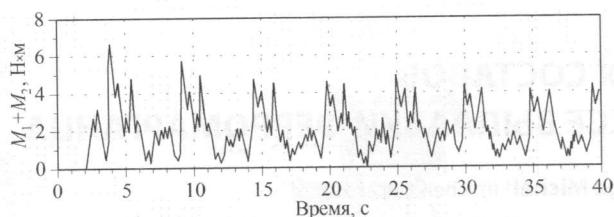


Рис. 5. Характерный вид сигнала, регистрировавшегося при контроле момента сопротивления, преодолеваемого приводом физической модели системы выгрузки в течение одного цикла работы при высоте столба сыпучего материала  $H = 60$  мм

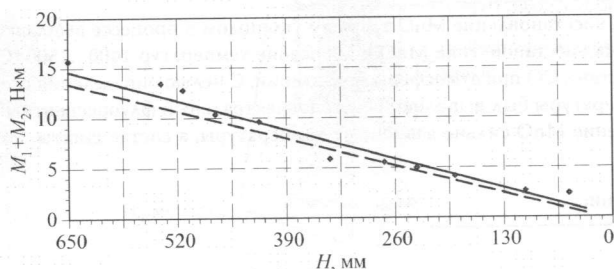


Рис. 6. График зависимости осредненного эмпирического (непрерывная линия) и аналитического (штриховая кривая) значений суммарного момента сопротивления, преодолеваемого приводом модели системы выгрузки, от высоты столба материала, находящегося в шахте над подвижным подом

ли с аналитическими, расчетными для параметров модели (рис. 6). Расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превысило 10%, что приемлемо для инженерных расчетов.

**Заключение.** Внедрение в производство разгрузочного механизма с рациональными конструктивными параметрами позволит повысить равномерность выдачи материала, что обеспечивается возможностью ее реализации в непрерывном режиме с одновременным сбросом извести всеми ножами-скребками по периметру подвижного пода.

Разработанная методика расчета конструктивных и энергосиловых параметров новой системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи может быть использована при проектировании ее

опытно-промышленного образца с учетом механических характеристик выдаваемого материала.

**Библиографический список**

1. Монастырев А.В., Александров А.В. Печи для производства извести. Справочник. М.: Металлургия, 1979. 232 с.
2. Табунчиков Н.П. Производство извести. М.: Химия, 1974. 240 с.
3. Монастырев А.В. Производство извести. М.: Высшая школа, 1978. 225 с.
4. Табунчиков Н.П., Аксенов Э.Т., Гуревич Р.Я., Шевцов Л.Д. Производство извести и сатурационного газа на сахарных заводах. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 176 с.
5. Ефремов А.С., Лапшин В.В., Ломагин В.Н., Смирнов М.А. Автоматизация технологического процесса выгрузки и транспортировки обожженной извести // Вест. Костромского гос. технологич. ун-та. 2015. № 2 (35). С. 61–64.
6. Чмиль В.П., Чмиль Ю.В. Концепция экологически чистой автоматизированной системы хранения и подачи химически активных сыпучих материалов // Химическая промышленность сегодня. 2014. № 4. С. 29–34.
7. Перескоков А.И., Артов Д.А. Комбинированная установка обжига известняка // Экология и промышленность России. 2005. № 4. С. 14–16.
8. Питак И.В., Шаповрев П.В., Шестопалов А.В., Шаповрев В.П. Совершенствование производства извести в шахтных печах // Технологический аудит и резервы производства. 2014. № 1. С. 59–63.
9. Мадисон В.В., Рязанов В.Т., Набоких А.А. и др. Опыт технического перевооружения и освоения режимов работы печи PFR для обжига известняка // Сталь. 2015. № 3. С. 64–70.
10. Пат. 2623402 РФ, МПК F27B 1/20. Устройство для разгрузки шахтной известково-газовой печи / Смирнов Е.Н., Еронько С.П., Ткачев М.Ю. и др.; заявл. 23.05.2016, опубл. 27.06.2017. Бюл. № 18.
11. Долгунин В.Н., Борщев В.Я. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение. М.: Машиностроение, 2005. 112 с.

**CALCULATION AND DESIGN OF EFFECTIVE SYSTEM OF LIME DISCHARGE FROM SHAFT BURNING FURNACE**

© Eron'ko S.P., Tkachev M.Yu., Oshovskaya E.V., Smirnov E.N., Sklyar V.A.

The principle of operation and calculation methodology of design and the power parameters of the electromechanical drive of the new system of discharge of shaft lime-gas furnace with the maximum possible uniformity in the unloading of burnt lime on the perimeter of the movable hearth, which performs plane-parallel motion in the horizontal plane is considered. The proposed method allows to determine the necessary value of power electromechanical drive system with a rational number of knives-scrapers for maintenance of a desired performance of the vertical type furnace taking into account the mechanical characteristics of the bulk material and constructive parameters of the device.

The results of experimental studies on a physical model of energy-power parameters of the drive system for the given conditions, conducted with the use of control and measuring complex, which consisted of a strain gauge transducer, for torque control, AC amplifier, ADC and computer are considered.

**Keywords:** shaft furnace; discharging device; lime; bulk material; torque; drive.